

**PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* PROSES *FRICTION STIR WELDING* (FSW) PADA AA-2014 MENGGUNAKAN VARIASI
SAMBUNGAN *SINGLESIDE* DAN *DOUBLESIDE***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik**

Oleh:

IRFAN RAMADHANI

D 200 260 266

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* PROSES *FRICTION STIR WELDING* (FSW) PADA AA-2014 MENGGUNAKAN VARIASI
SAMBUNGAN *SINGLESIDE* DAN *DOUBLESIDE***

PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

IRFAN RAMADHANI

D 200 160 266

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen

Pembimbing



Ir. Agus Hariyanto, M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* PROSES *FRICTION STIR WELDING (FSW)* PADA AA-2014 MENGGUNAKAN VARIASI
SAMBUNGAN *SINGLESIDE* DAN *DOUBLESIDE***

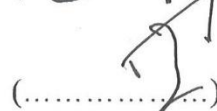
**OLEH
IRFAN RAMADHANI
D200160266**

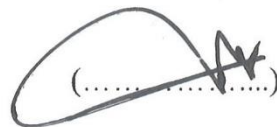
**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Jumat, 30 Agustus 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji :

1. Ir. Agus Hariyanto, M.T.
(Ketua Dewan Penguji)
2. Ir. Sunardi Wiyono, M.T.
(Anggota 1 Dewan Penguji)
3. Ir. Agung Setyo D, M.T.
(Anggota 2 Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan


Ir. Sri Sunarjono, M.T., Ph.D., IPM.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak beneran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, Oktober 2019

Penulis



IRFAN RAMADHANI

NIM D200160266

PENGARUH KECEPATAN *SPINDLE* PROSES *FRICTION STIR WELDING* (FSW) PADA AA-2014 MENGGUNAKAN VARIASI SAMBUNGAN *SINGLESIDE* DAN *DOUBLESIDE*

Abstrak

Friction Stir Welding (FSW) adalah proses pengelasan memanfaatkan panas akibat putaran dari *tool* yang bergesekan dengan logam induk di bawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan. Metode *friction stir welding* ini pada umumnya digunakan untuk menyambung material aluminium. Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui pengaruh kecepatan putaran *tool* dengan variasi sambungan *singleside* dan *doubleside* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro pada sambungan logam sejenis. Proses *friction stir welding* menggunakan mesin milling untuk materialnya AA 2014 dengan panjang 100 mm lebar 50 mm dan tebal 3 mm. Parameter yang digunakan adalah *feedrate* 10 mm/menit dan sudut kemiringan *tool* 3° dengan variasi kecepatan putaran *tool* 1500 rpm dan 915 rpm serta variasi tipe sambungan *singleside butt joint* dan *doubleside butt joint*. Pengujian spesimen hasil pengelasan meliputi, uji tarik, uji kekerasan kekerasan *vickers*, dan uji struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan pada variasi kecepatan putaran *tool* 915 rpm dan tipe sambungan *doubleside* memiliki tegangan tarik tertinggi yaitu 332,14 MPa. Pada pengujian kekerasan mikro *vickers* daerah *weld nugget* memiliki nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan logam induk dan HAZ, hal ini terjadi pada semua variasi. Struktur mikro pada daerah HAZ mengalami *grain growth* akibat temperatur yang diterima, sedangkan pada *weld nugget* menunjukkan tampilan struktur mikro yang kecil dan rapat.

Kata kunci: FSW, kekuatan tarik, nilai kekerasan, struktur mikro.

Abstract

Friction Stir Welding (FSW) is a welding process utilizing heat due to rotation of the tool that rubs against the chief metal under large axial pressure in the welding area. This friction stir welding method is generally used to connect aluminum material. The purpose of this thesis research is to determine the effect of tool rotation speed with variations in single side and double side connections to the mechanical properties and microstructure of similar metal joints. The friction stir welding process uses a milling machine for material AA 2014 with a length of 100 mm 50 mm wide and 3 mm thick. The parameters used are feed rate 10 mm / minute and the slope angle of the tool 3° with variations in tool rotation speed 1500 rpm and 915 rpm and variations in the type of continuous single side butt joint and double side butt joint. Test specimens of welding results include, tensile test, micro vickers hardness test, and microstructure test. The results show that the variation of tool rotation speed of 915 rpm and double side junction type have the highest tensile stress of 332.14 MPa. In the hardness testing of micro vickers the nugget weld area has a high hardness value compare to the chief metal and HAZ, this occurs in all variations. The microstructure of the HAZ region has grain growth due to the temperature received, while the weld nugget shows a small microstructure and tight appearance.

Keywords: FSW, tensile strength, hardness value, microstructure.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era perkembangan teknologi pengerjaan logam menuntut adanya peningkatan dari segi desain dan rancangan struktur yang ringan dan kuat. Struktur seperti ini banyak dibutuhkan pada industri otomotif, kedirgantaraan dan perkapalan. Pengelasan berdasarkan definisi DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilakukan dalam keadaan lumer atau cair. Proses pengelasan dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu LSW (*Liquid State welding*) dan SSW (*Solid State Welding*). LSW adalah proses pengelasan logam dengan cara mencairkan logam tersebut terlebih dahulu, sedangkan SSW merupakan proses pengelasan logam yang dilakukan pada kondisi padat atau logam tidak mencapai titik leburnya pada saat tersambung.

Salah satu metode SSW adalah *Friction Stir Welding*, yaitu proses pengelasan dengan memanfaatkan panas yang timbul akibat putaran dari *tool* yang bergesekan dengan logam induk di bawah tekanan aksial yang besar pada daerah pengelasan. FSW adalah suatu proses pengelasan baru yang ditemukan di TWI (*The Welding Institute*). FSW sering diaplikasikan pada logam aluminium atau pada *dissimilar* logam. Kelemahan saat proses pengelasan ini terjadi pada sambungan lasan yang mengalami pelunakan dan penurunan tegangan tarik akibat proses rekristalisasi di *nugget zone* selama proses pengelasan berlangsung.

Friction Stir Welding (FSW) harus memerhatikan beberapa parameter, seperti: putaran *spindle*, kecepatan *feeding*, desain, material *tool*, kedalaman pembenaman *tool* (*tool deep plunge*), sudut kemiringan *tool* terhadap benda kerja, dan bentuk / profil dari pin. Pemilihan parameter yang tepat, maka didapatkan kekuatan sambungan akan meningkat dan cacat pengelasan dapat diminimalkan.

Dari pembahasan diatas penelitian ini diarahkan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh kecepatan *spindle* dan tipe sambungan hasil *Friction Stir Welding* (FSW) pada *Aluminium Alloy* 2014 dengan tebal 3 mm terhadap kekuatan tarik, nilai kekerasan, dan struktur mikro sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam memudahkan penelitian ini, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kekuatan tarik dan nilai kekerasan dari proses *Friction Stir Welding* (FSW) dengan variasi kecepatan *spindle* dan tipe sambungan.
2. Bagaimana struktur mikro dari spesimen bahan *Aluminium Alloy* 2014 pada proses *Friction Stir Welding* (FSW) dengan melakukan foto struktur mikro.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah diatas, penelitian ini berkonsentrasi pada:

1. Proses *Friction Stir Welding* (FSW) menggunakan mesin milling vertikal.
2. Material yang digunakan pada proses pengelasan metode *Friction Stir Welding* (FSW) yaitu *Aluminium Alloy* 2014 dengan tebal 3 mm.
3. Tipe sambungan pengelasan metode *Friction Stir Welding* (FSW) yang digunakan adalah *butt joint doubleside* dan *singleside*.
4. Parameter yang digunakan pada proses pengelasan FSW yaitu dengan variasi kecepatan putaran *tool* 1500 rpm dan 915 rpm, *feedrate* 10 mm/menit, dan sudut kemiringan *tool* 3°.
5. Tipe *tool* yang digunakan adalah *taper cylindrical*.
6. Pengujian sifat mekanis (kekuatan tarik, nilai kekerasan) dan sifat fisis (struktur mikro, komposisi kimia) pada hasil pengelasan metode *Friction Stir Welding* (FSW).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kandungan dari *base metal* dengan pengujian komposisi kimia menggunakan standar ASTM E 1251.
2. Mengetahui kekuatan tarik pengelasan *Fiction Stir Welding* (FSW) dengan pengujian tarik yang menggunakan standar ASTM E 8.

3. Mengetahui nilai kekerasan pengelasan *Friction Stir Welding* (FSW) dengan pengujian kekerasan *vickers* yang menggunakan standar ASTM E 384.
4. Mengetahui struktur mikro dari pengelasan metode *Friction Stir Welding* (FSW) dengan foto struktur mikro yang menggunakan standar ASTM E 3.

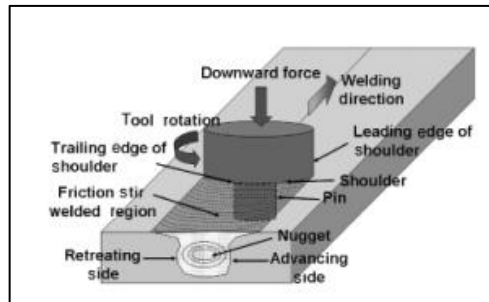
1.5 Tinjauan Pustaka

Ramanjeyanulu K. dkk (2013), melakukan penelitian pengelasan metode *Friction Stir Welding* (FSW) menggunakan material *aluminium alloy* 2014 dengan variasi bentuk *pin* yang digunakan. Pada proses penelitian digunakan material aluminium dengan ukuran 300 mm x 80 mm x 5 mm. Material *tool* yang digunakan AISI-H13 yang dikeraskan hingga 50-55 HRC, variasi bentuk profil *pin* ada 5 yaitu *taper cylindrical*, *triangular*, *square*, *pentagon* dan *hexagon cross sections*. Pengelasan dilakukan dengan parameter kecepatan putaran *tool* 1000 rpm, *feedrate* 6 mm/menit dan sudut kemiringan 2° , pengujian yang dilakukan adalah foto struktur mikro, pengujian kekerasan dan pengujian tarik. Hasil pengujian dari tipe *tool taper cylindrical* sebagai berikut pengujian kekerasan dilakukan dengan 10 titik dan kekerasan tertinggi ada pada bagian *weld nugget* yaitu 148 HVN, pada pengujian tarik didapatkan kekuatan tarik tertinggi sebesar 348 MPa dan regangan tarik 1,6% kemudian pada pengamatan foto struktur mikro terjadi pengecilan butir dari *base metal* yang ukuran butir memanjang, HAZ sedikit mengecil dan pada bagian *weld nugget* butir semakin kecil dan rapat.

1.6 Dasar Teori

1.6.1 *Friction Stir Welding* (FSW)

Friction Stir Welding (FSW) merupakan suatu proses pengelasan yang relatif baru diantara teknik *solid state welding* yang diciptakan oleh Wayne Thomas di TWI (*The Welding Institute*), Inggris pada Desember 1991. FSW merupakan proses pengelasan yang sederhana seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema FSW dalam konfigurasi *butt joint* (Mishra, 2014)

Pada gambar 1 di atas merupakan ilustrasi secara skematis proses FSW untuk dua buah plat yang ditempatkan dalam konfigurasi *butt* (saling berhadapan). Sebuah *non-consumable tool* yang berputar yang dirancang khusus memiliki *shoulder*, dan *pin* dijatuhkan ke dalam tepi plat yang berhadapan yang akan disambungkan dan digerakkan sepanjang garis sambungan. Panas gesekan yang dihasilkan antara *tool* yang berputar dan benda kerja dan panas dari deformasi plastis adiabatik dari material benda kerja menyebabkan material di sekitar *tool* akan melunak. Gerak maju dan putaran *tool* menyebabkan material di sekitar *tool* dalam keadaan ini akan bergerak/berpindah dari depan *tool* menuju belakang *tool*. Hal ini akan menyebabkan formasi sambungan di antara dua plat tersebut.

Secara umum FSW memiliki 3 jenis sambungan pengelasan yaitu *butt joint*, *lap joint*, dan *fillet joint*. Dalam perkembangannya jenis sambungan FSW semakin bervariasi dengan mengkombinasikan antara ketiga jenis sambungan dasar tersebut.

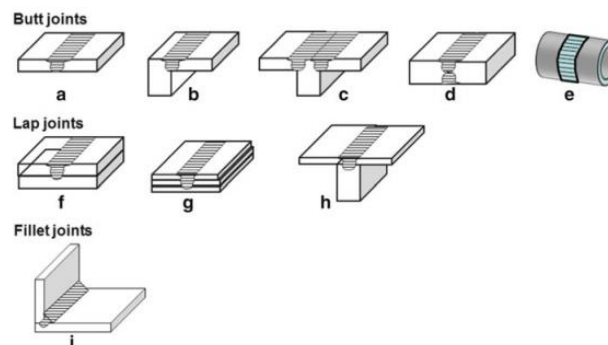


Fig. 4.1 Joint configurations for friction stir welding: (a) single side square butt, (b) edge butt, (c) T butt joint, (d) double side square butt used for thick plates, (e) tubular welds with single side butt joint, (f) lap joint, (g) multiple lap joint, (h) T lap joint, and (i) fillet joint

Gambar 2. Jenis Sambungan *Friction Stir Welding* (Mishra, 2014)

1.6.2 Aluminium

Aluminium dan aluminium paduan termasuk logam ringan dengan kekuatan yang cukup tinggi, tahan terhadap karat dan merupakan konduktor listrik yang baik. Aluminium memiliki ductility yang baik pada kondisi dingin. Aluminium dan paduannya memiliki sifat mampu las (*weldability*) yang kurang baik jika dibandingkan jenis logam lainnya. Hal ini disebabkan oleh sifat aluminium yang memiliki konduktifitas panas yang tinggi, koefisien muai yang besar, reaktif dengan udara membentuk lapisan oksida aluminium, serta berat jenis dan titik cairnya yang rendah (ASM Handbook Vol. 09, 1990)..

Golongan paduan seri dua merupakan paduan aluminium dengan unsur pepadu dominan adalah tembaga (Cu). Paduan yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang jelek. Penggunaan paduan ini diantaranya komponen truk, komponen mesin, piston dan struktur pesawat terbang.

1.6.3 Pengujian Komposisi Kimia menurut ASTM E 1251

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang terkandung didalam material. Standar ASTM E 1251 merupakan metode pengujian komposisi kimia untuk aluminium dalam bentuk cor ataupun tempa. Alat yang digunakan adalah *Emission Spectrometer* yang bekerja secara otomatis mengetahui kriteria dan presentase kandungan unsur-unsur kimia material penyusun logam.

1.6.4 Pengujian Tarik menurut ASTM E 8

ASTM E8 adalah standar internasional yang digunakan untuk pengujian tarik (*tensile test*) juga sering disebut *tension test*. Prinsip dari pengujian tarik yaitu spesimen benda uji dengan ukuran dan bentuk tertentu (sesuai standar pengujian tarik) ditarik dengan beban kontinyu dan diukur pertambahan panjangnya. Data yang didapat berupa pertambahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan-regangan. perilaku mekanik material dan karakteristik perpatahan. Informasi yang didapatkan, yaitu:

1. Tegangan

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Keterangan :

P : Beban penampang (N)

A₀ : Luas penampang (mm²)

σ : Tegangan tarik (kg/mm²)

2. Regangan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L-L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

ΔL : Pertambahan panjang benda uji (mm)

L₀ : Panjang awal (mm)

L : Panjang batang setelah diberi pembebanan (mm)

ε : Regangan (%)

3. Modulus elastisitas

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Keterangan :

E : Modulus elastisitas (kg/mm²)

σ : Tegangan (kg/mm²)

ε : Regangan (%)

1.6.5 Pengujian Kekerasan *Vickers* menurut ASTM E 384

Pengujian kekerasan adalah salah satu jenis pengujian untuk mengetahui kekerasan dari material. Kekerasan suatu material dapat didefinisikan sebagai ketahanan material terhadap deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri adalah suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Nilai kekerasan suatu material diberikan oleh rumus :

$$VHN = \frac{1,854 P}{D^2} \quad (4)$$

Keterangan:

VHN : *Vickers Hardness Number*

P : Beban (kg)

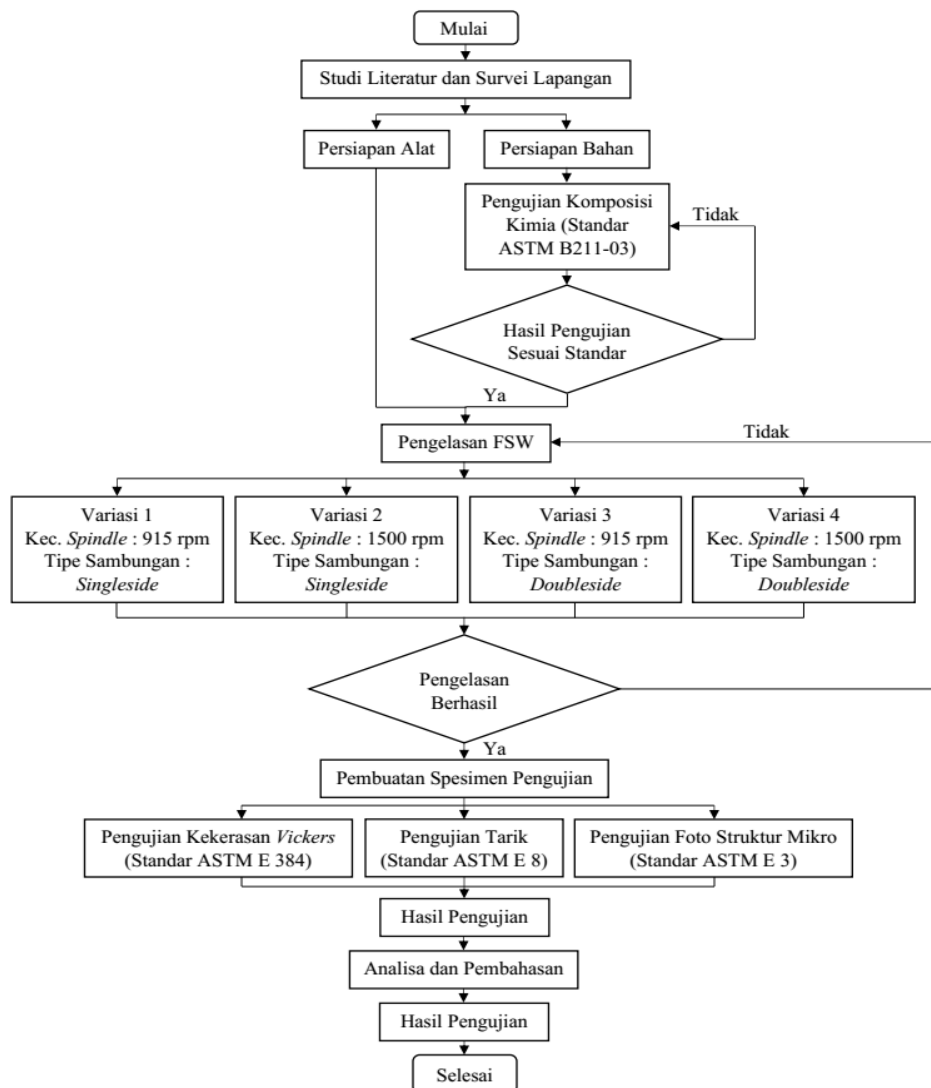
D : Panjang diagonal rata-rata dari jejak indenter (mm)

1.6.6 Pengujian Struktur Mikro ASTM E 3

Pengujian mikro adalah suatu pengujian mengenai struktur bahan melalui pembesaran dengan menggunakan mikroskop khusus metalografi. Dengan pengujian mikro struktur, kita dapat mengamati bentuk dan ukuran kristal logam, kerusakan logam akibat proses deformasi, proses perlakuan panas, dan perbedaan komposisi. Standar uji yang digunakan dalam pengujian struktur mikro adalah ASTM E3.

2 METODE

2.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengelasan dan pengujian disiapkan diantaranya yaitu *base metal* (Aluminium 2014), *probe*, *backing plate*, mesin *milling*, jangka sorong, alat uji tarik, alat uji kekerasan *vickers*, alat foto struktur mikro.

2.2.2 Proses Pengelasan

1. Memasang *base metal* diatas *backing plate*, memastikan posisi spesimen dalam keadaan lurus dan sisi sambungan benar-benar rapat.
2. Mencekam spesimen dengan kuat agar tidak terjadi pergeseran posisi spesimen selama proses pengelasan.
3. Menyalakan mesin *milling* dengan kecepatan putaran tool 915 rpm dan mengatur *feedrate* digunakan 10 mm/menit dan tunggu beberapa saat agar mesin benar-benar siap digunakan.
4. Melakukan penetrasi *tool* ke dalam spesimen sampai kedalaman 2,8 mm dari 3 mm atau hingga jarak antara landasan dan spesimen 0,2 mm. Penetrasi dilakukan secara manual dengan menaikkan atau menurunkan meja las terhadap sumbu y secara perlahan sambil mengukur temperaturnya.
5. Setelah spesimen dingin, pencekam dilepas dan spesimen dapat diambil.
6. Mengulangi langkah 1 sampai 5 untuk variasi *kecepatan* 1500 rpm pada spesimen berikutnya.
7. Setelah proses pengelasan pada sisi tunggal selesai, 2 spesimen dengan variasi 1500 rpm dan 915 rpm dipersiapkan untuk diproses sisi yang kedua.
8. Mengulangi langkah 2 sampai 10 untuk proses sisi yang kedua dengan variasi kecepatan 915 rpm dan 1500 rpm.
9. Mencatat dan menyimpan semua data yang diperoleh selama proses pengelasan.

2.2.3 Proses Pengujian

Pengujian dalam penelitian dibedakan menjadi dua yaitu sebelum pengelasan FSW dan setelah pengelasan FSW. Pengujian sebelum FSW

adalah pengujian komposisi kimia di CV. Karya Hidup Sentosa, Yogyakarta dan pengujian yang dilakukan setelah pengelasan FSW terdiri dari Pengujian tarik, pengujian kekerasan vickers serta pengujian struktur mikro. Pengujian hasil FSW dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Departemen Teknik Mesin, SV, UGM

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

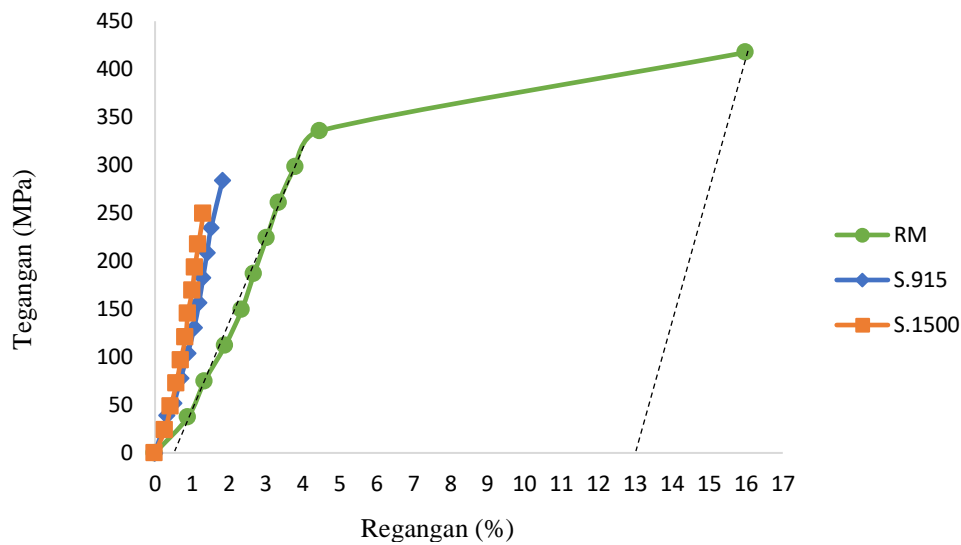
Dari hasil pengujian komposisi kimia menyatakan bahwa kandungan unsur paling dominan antara lain: Aluminium (Al) dan tembaga (Cu), dengan presentase masing masing adalah : Al 94,61% dan Cu 4,213%. Dilihat dari tingginya unsur paduan tembaga (Cu), aluminium ini termasuk golongan paduan seri dua. Setelah membandingkan data hasil pengujian komposisi kimia dengan ASTM B 211-03, menunjukkan bahwa kandungan material yang digunakan dalam penelitian ini termasuk pada aluminium seri 2014.

Tabel 1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

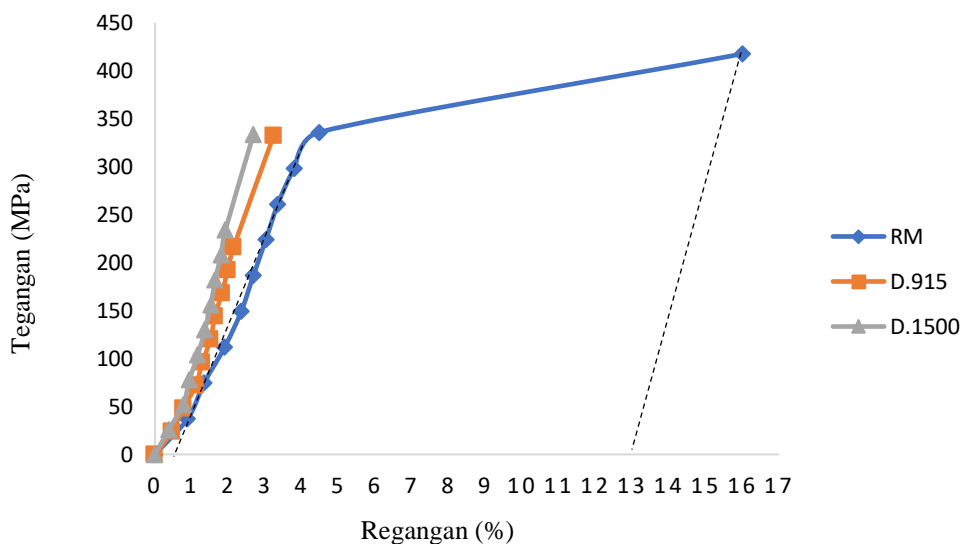
No	Elemen	Hasil Pengujian (%)	ASTM B 211-03
1	Si	0,03	1,2 maks
2	Fe	<0,1275	0,7 maks
3	Cu	4,213	3,9 - 5
4	Mn	0,5088	0,4 – 1,2
5	Mg	0,2974	0,2 – 0,8
6	Zn	0,1747	0,25 maks
7	Ti	0,0185	0,15 maks
8	Cr	0,0108	0,1 maks
9	Elemen lain	Per elemen	0,003
		Total	0,01
10	Aluminium (Al)	94,61	Sisa (<i>Remainder</i>)

3.2 Hasil Pengujian Tarik

Dari data hasil pengujian, untuk membandingkan nilai tegangan dan regangan dari keempat variasi tipe sambungan dan kecepatan serta *raw material* dapat dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut ini.



Gambar 4. Hasil pengujian tarik rata-rata tipe sambungan *singleside* dan *raw material*

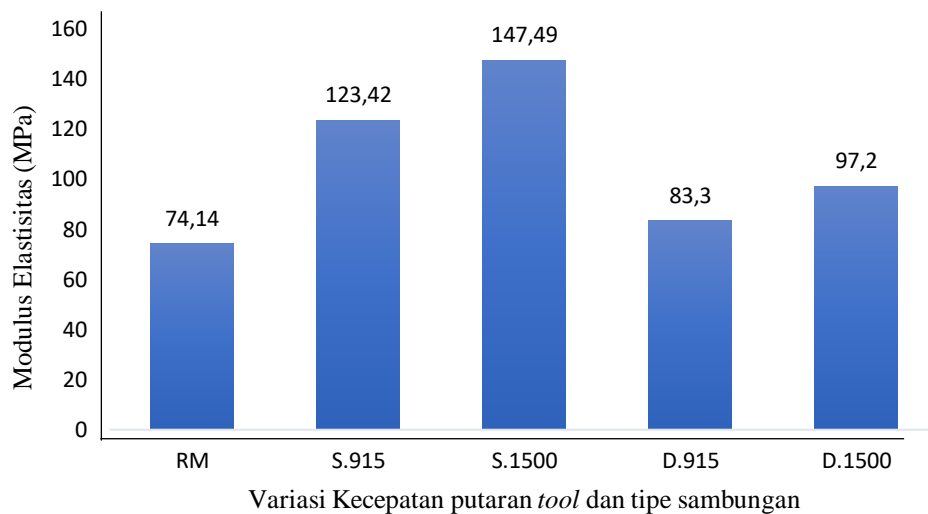


Gambar 5. Hasil pengujian tarik rata-rata tipe sambungan *doubleside* dan *raw material*

Dari hasil pengujian ini diketahui bahwa tipe sambungan *doubleside*, kecepatan putaran *tool* 915 rpm dan *federate* 10mm/menit merupakan paduan yang bagus. Dari paduan tersebut temperatur yang dihasilkan cukup dan stabil proses pengadukan yang terjadipun bagus kemudian diproses pada kedua sisi sehingga pengelasan yang dihasilkan menjadi sempurna. Pada keseluruhan pengujian yang dilakukan kekuatan tarik dari semua variasi pengelasan berada

dibawah kekuatan tarik dari *base metal*, hal ini menunjukkan bahwa proses pengelasan akan menurunkan kekuatan tarik dari material AA 2014 karena struktur mikro awal material akan mengalami perubahan akibat temperatur pengelesan yang terjadi, selain itu juga bisa disebabkan adanya cacat las.

Melalui perhitungan data hasil pengujian tarik dapat diolah untuk mendapatkan nilai modulus elastisitas. Perbandingan modulus elastisitas maksimum dari setiap variasi tipe sambungan dan kecepatan.

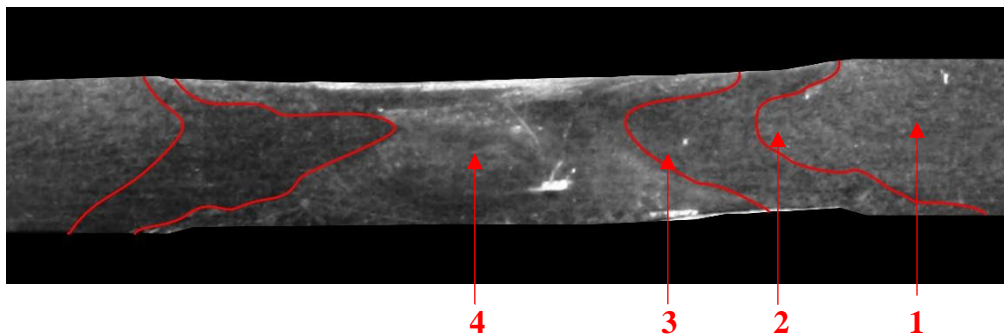


Gambar 6. Grafik modulus elastisitas

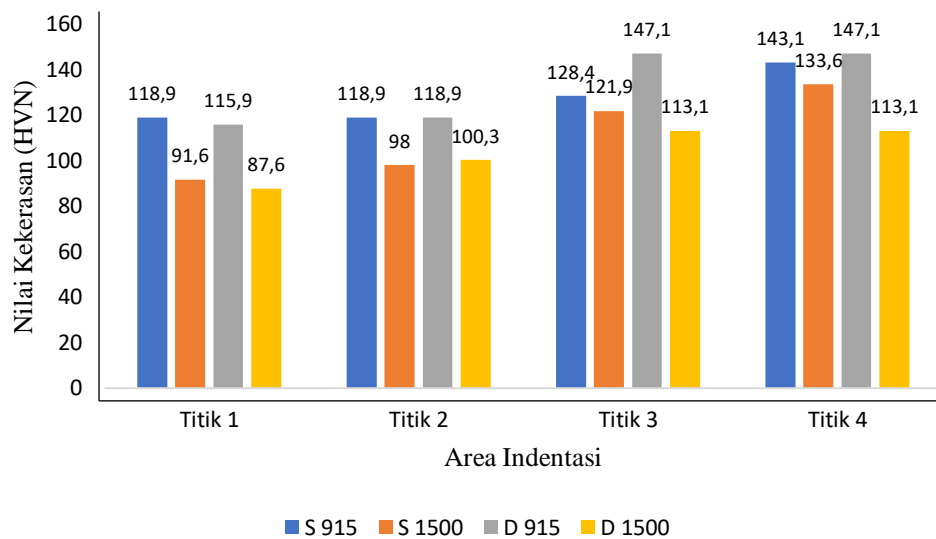
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan *spindle* maka modulus elastisitasnya semakin tinggi, adanya cacat yang terjadi dalam proses pengelasan mempengaruhi hasil nilai modulus elastisitas lasan.

3.3 Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan *vickers* pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan spesimen hasil pengelasan FSW. Sabagai acuan pengujian ini menggunakan standar ASTM E384.



Gambar 7. Area indentasi pengujian kekerasan *vickers*

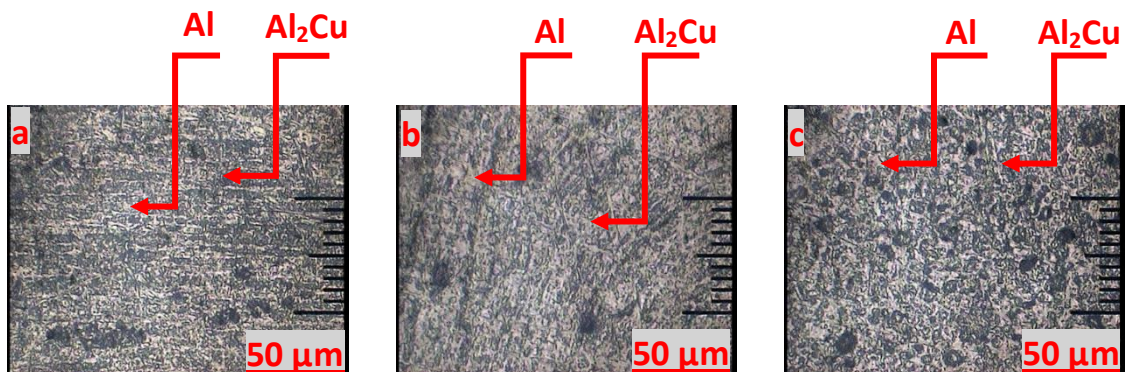


Gambar 8. Grafik Nilai Kekerasan *Vickers*

Dari data grafik diatas menunjukan nilai kekerasan pada daerah *weld nugget*, *HAZ* dan *base metal* pada setiap variasi pengelasan. Nilai kekerasan pada bagian *base metal* dan *HAZ* hampir sama pada setiap variasi pengelasan sedangkan pada bagian *weld nugget* memiliki nilai kekerasan yang bervariasi. Dari semua variasi pengelasan nilai kekerasan tertinggi yaitu pada daerah *weld nugget*, hal ini dikarenakan daerah *weld nugget* bergesekan langsung dengan *pin* dan *shoulder* serta juga dipengaruhi oleh karakteristik material dan temperatur yang tepat.

3.4 Hasil Pengujian Foto Struktur Mikro

Analisa struktur mikro adalah proses pemeriksaan struktur kristal dengan menggunakan mikroskop metalografi.



Gambar 9. Hasil pengujian struktur mikro FSW *singleside* 1500 rpm a) *base metal* b) *HAZ* dan c) *weld nugget*

Daerah *base metal* merupakan daerah yang terletak jauh dari pusat pengelasan atau *stir zone*. Sehingga material tidak terdeformasi, perubahan struktur mikro dan *mechanical property*, bentuk butir pipih kecil-kecil dan relatif seragam. Struktur mikro pada Al-Cu terdiri dari struktur mikro Al dan Al₂Cu (*ASM Handbook Vol.9, 2004*). Pada gambar 9 terlihat adanya daerah gelap dan daerah terang. Daerah gelap merupakan fasa Θ (fasa Al₂Cu) dan pada daerah terang merupakan fasa α (fasa Al) sedangkan pada butiran titik-titik berwarna gelap adalah presipitat.

Daerah HAZ adalah daerah yang mengalami siklus termal tetapi tidak mengalami deformasi plastis. Pada daerah ini juga terjadi perubahan struktur mikro disekitar daerah lasan. Daerah HAZ akan terjadi perubahan ukuran butir (*grain size*) dimana ukurannya tergantung dengan karakteristik material, suhu, lama pemanasan, dan laju pendinginan. Hasil foto mikro pada daerah HAZ terlihat bentuk butir hampir sama dengan *base metal*, namun ukuran butir terlihat sedikit mengecil.

Weld nugget (daerah las) adalah daerah yang terdampak oleh panas yang dihasilkan saat pengelasan dan juga daerah yang terdeformasi akibat proses pengadukan dari pin. Pada daerah *weld nugget* terjadi *grain refinement* maksudnya adalah daerah yang mengalami deformasi plastis dan pemanasan selama proses *Friction Stir Welding* (FSW) sehingga menghasilkan rekristalisasi yang menjadikan butiran halus di daerah pengadukan. Dari hasil foto mikro, dari keempat spesimen terlihat perubahan yang sebelumnya pada base metal dan HAZ bentuk butir pipih dan panjang, pada daerah *weld nugget* terlihat butir yang kecil dan susunanya rata. Pada kecepatan putaran *tool* 1500 rpm terlihat butir lebih besar daripada kecepatan putaran *tool* 915 rpm hal ini dikarenakan *heat input* yang besar hal ini juga yang menyebabkan nilai kekerasannya rendah.

4. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- 1) Berdasarkan pengujian komposisi kimia yang dilakukan, menyatakan bahwa kandungan unsur paling dominan adalah Al : 94,61% dan Cu : 4,213%. Dari

data hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa material aluminium yang digunakan merupakan AA 2014.

- 2) Berdasarkan pengujian tarik yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa kekuatan tarik rata-rata dari *doubleside friction stir welding* lebih besar dari *singleside friction stir welding*. Kekuatan tarik tertinggi pada variasi *doubleside friction stir welding* dengan kecepatan putaran *tool* 915 rpm yaitu 332,14 MPa dan kekuatan tarik terendah pada variasi *singleside friction stir welding* dengan kecepatan putaran *tool* 1500 rpm yaitu 249,80 MPa.
- 3) Hasil dari pengujian kekerasan *vickers* nilai kekerasan tertinggi dari semua spesimen pada daerah *weld nugget*. Variasi *doubleside friction stir welding* dengan kecepatan putaran *tool* 915 rpm memiliki nilai kekerasan tertinggi pada *weld nugget* yaitu 147,1 HVN.
- 4) Hasil pengamatan struktur mikro pada daerah HAZ mengalami *grain growth* akibat temperatur pengelasan yang diterima, sedangkan pada bagian *weld nugget* mengalami pengecilan butir dan terlihat rapat. Kecepatan putaran *tool* mempengaruhi ukuran butir.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengelasan FSW yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal antara lain:

- 1) Menggunakan mesin dan alat khusus untuk proses *friction stir welding*.
- 2) Memperhatikan dan mempelajari sifat material *tool* yang akan digunakan pengelasan.
- 3) Memperhatikan temperature benda kerja pada saat proses *friction stir welding*.
- 4) Menentukan parameter pengelasan agar waktu pengelasan lebih cepat dan memperoleh hasil yang tetap baik.
- 5) Penelitian ini masih dapat dilanjutkan.

PERSANTUNAN

Assalamu'alaikum. Wr. Wb.

Alhamdulillahirobbil'alamin, Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“PENGARUH KECEPATAN SPINDLE PROSES FRICTION**

STIR WELDING (FSW) PADA AA-2014 MENGGUNAKAN VARIASI SAMBUNGAN SINGLESIDE DAN DOUBLESIDE”.

Atas terselesaikannya tugas akhir ini, tidak mungkin dicapai tanpa adanya dukungan, bantuan, bimbingan, semangat dan nasihat dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu dan Ayah tercinta yang senantiasa dengan kebesaran hatinya memberikan dukungan baik berupa moril, materiil, maupun spiritual, terimakasih untuk semuanya.
2. Bapak Ir. Sri Sunarjono, MT.,Ph.D.,IPM., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
3. Bapak Ir. H. Subroto, MT., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
4. Bapak Ir. Agus Hariyanto, MT., selaku Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Bapak Ir. Sunardi Wiyono, MT., yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama menyelesaikan masa perkuliahan.
6. Ibu Taurista Perdana Syawitri, ST., yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama menyelesaikan masa perkuliahan.
7. Seluruh Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah memberikan bekal ilmu selama menyelesaikan masa perkuliahan.
8. Suci Harum Dewi sangat membantu dari segi motivasi serta memberi dukungan moril kepada penulis.
9. Teman-teman Transfer Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah berjuang bersama-sama selama berada di Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta dan selalu memberikan semangat, dukungan, bantuan.
10. Seluruh dosen dan staf pengajar Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih belum sempurna. Oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Penulis berharap agar laporan Tugas akhir ini memberi mafaat bagi pembaca.

Wassalamu’alaikum. Wr. Wb.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook, 2004, *Metallography and Microstructures*, Volume 9, ASM International
- ASM Handbook, 2004, *Welding, Brazing and Soldering*, Volume 6, ASM International
- Elengovam, K., Balasubraiman V., dan Babu S. (2008), *Developing an Emericical Relationship to Predict Tensile Strength of Friction Stir Welded AA2219 Aluminium Alloy*, Volume 17. Material Engineering and Peformance.
- Kumar, R.A., Varghese, S., dan Sivapragash, M. 2012, *A Comparative Study of the Mechanical Properties of Single and Double Sided Friction Stir Welded Aluminium Joints*. Procedia Engineering.
- Mishra, R. S., dan Mahoney, M. W. (Ed.) 2007. *Friction Stir Welding and Processing*. ASM Internasional.
- Nandan, R., DebRoy, T., dan Bhadeshia, H. K. D. H. 2008, *Recent Advances in Friction Stir Welding – Process, Weldment Structure and Properties*. Cambridge: University of Cambridge.
- Prabowo, Azhar Fariz. 2016, *Pengaruh Kecepatan Spindle dan Feedrate terhadap Kekuatan Sambungan Las Tipe Friction Stir Welding untuk Aluminium Seri 1100 dengan Tebal 2mm*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Prasetyana, Damas. 2016. *Pengaruh Kedalaman Pin (Depth Plunge) terhadap Kekuatan Sambungan Las pada Pengelasan Adukan Gesek Sisi Ganda (Doublesided Friction Stir Welding) Aluminium Seri 5083*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Ramanjeyenu, K., Reddy,G.M., Rao, A.V., dan Markandeya, R. (2012) *Structure-Property Correlation Of AA 2014 Friction Stir Weld : Role Of Pin Profile*. Material Engineering and Peformance.
- Romadhona, Ilham. 2018. *Studi Pengelasan Friction Stir Welding (FSW) Pada AA-1100 dengan Fe Menggunakan Variasi Feedrate 25 mm/menit, 30 mm/ menit dan 40 mm/menit*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Suherman, W. 1987. *Pengetahuan Bahan*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Surdia, Tata dan Saito, Shinroku. 1999. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Jakarta: PT.Pradya Paramita.

- Thomas, W.M., Staines D.G., dan Frias R. (2002), *Friction Stir Welding – Tools and Development*. Cambridge : The Welding Institute.
- Tim Pengajar Bahan Teknik. 2011. *Materi Pembelajaran Mata Kuliah Bahan Teknik I*. Yogyakarta : Sekolah Vokasi.
- Wirjosumarto, Harsono dan Okumura,Toshie. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : PT Pradya Paramita.